

无线通信电路基础教程

张桂花 著

警官教育出版社

无线通信电路基础教程

张桂花 著

警官教育出版社

·北京·

内容提要

本书根据近代无线通信的发展情况，在总结了本人多年课堂教学和实践教学经验的基础上，以打好基础、利于教学为原则而编写。内容包括：振荡回路和耦合回路、高频小信号调谐放大器、高频谐振功率放大器、正弦波振荡器、振幅调制与解调电路、混频电路、角度调制与解调电路及反馈控制电路等。

本书可供有关专业作为本科生教材，若取舍某些内容，也可作为相应专业的专科、成人教育的教材，同时也是从事有关专业的科研人员和工程技术人员的参考书。

图书在版编目 (CIP) 数据

无线通信电路基础教程/张桂花编. —北京: 警官教育出版社, 1998. 4
ISBN 7-81027-961-0

I. 无… II. 张… III. 无线电通信-电子电路-教材 IV. TN924

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (98) 第 09987 号

无线通信电路基础教程

WUXIAN TONGXIN DIANLU JICHU JIAOCHENG

张桂花 著

警官教育出版社出版

(100038 北京市西城区木樨地北里 2 号)

河北省涞水县华艺印刷厂印刷 新华书店发行

1998 年 4 月第 1 版 1998 年 4 月第 1 次印刷

开本: 787 毫米×1092 毫米 1/16 印张: 16.125

字数: 382 千 印数: 0001 册-3000 册

ISBN 7-81027-961-0/G·385 定价: 25.00 元

本社图书出现印装质量问题, 由发行部负责掉换

联系电话: (010) 63274348

参 考 文 献

1. Jack Smith: Modern Communication Circuits, McCrawHill Book Company, 1986 年
2. 谢嘉奎、宣月清编《电子线路 [非线性部分]》，高等教育出版社，1988 年
3. 张肃文主编《高频电子线路》，高等教育出版社，1986 年
4. 范希鲁主编《模拟集成电路系统》，中国铁道出版社，1991 年
5. 倪福卿、董荔真、罗伟雄编《非线性电子线路》，高等教育出版社，1987 年
6. 杨金法、王以孝编著《非线性电子线路》，中国科学技术大学出版社，1993 年
7. 万心平、张厥胜编著《集成锁相环路——原理、特性、应用》，人民邮电出版社，1990 年
8. 谢沅清、籍义忠编著《晶体管高频电路上、下册》，人民邮电出版社，1979 年
9. 卢淦主编《高频电子电路》，中国铁道出版社 1987 年
10. [美] K·K·克拉 D·T·希斯著 戚诒孙、梁慧君等译《通信电路：分析与设计》，人民教育出版社，1981 年

前 言

本书根据近代无线通信的发展，总结了本人多年课堂教学和实践教学的经验，以打好基础、利于教学的原则而编写的。

本书以集成电路为主，分立元件为基础，重点讨论无线通信中各种功能电路的组成，工作原理、性能、特点及其分析方法。同时，注意近代无线通信方面的新动向、新发展、吸收了新成果及新信息。书中以不同的方式安排了一定数量的实用电路，使读者对各种功能电路有深刻的理解。为了方便读者的学习，掌握学习重点，每章后附有思考题和习题，供读者练习与自我测试。

全书共分八章。在绪论部分简略介绍无线通信电信号传输、发射及接收的概念，为以后各功能电路之间的有机联系建立初步概念。第一章谐振回路和耦合回路，本章对谐振回路和耦合回路作了一些复习和讨论，为以后有关章节内容打好基础。第二章高频小信号调谐放大器。第三章高频谐振功率放大器。第四章正弦波振荡器。第五章振幅调制与解调电路。第六章混频电路。第七章角度调制与解调电路。第八章反馈控制电路。

本书可作为高等院校的通信、无线电、图象、安全防范、电子技术、自动控制等专业以及相近专业的无线通信电路基础、非线性电子线路和高频电路等课程的本科生教材。若取舍某些内容也可作为相应专业的专科、成人教育的教材。也可作为从事上述专业的科研人员和工程技术人员的参考书。

北京工业大学汪庆宝教授审阅了全书，提出了很多宝贵的意见和建议。在编写过程中也得到同行专家及朋友们的帮助、鼓励和支持，在此一并表示感谢。

由于水平有限，书中的谬误与不妥之处，诚恳希望读者提出批评指正。

编 者

1997, 7

目 录

绪 论

§ 0—1 非线性器件的基本特点	(1)
§ 0—2 非线性器件的作用	(3)
§ 0—3 通信系统概述	(4)

第一章 振荡回路和耦合回路

§ 1—1 振荡回路	(11)
1—1—1 串联振荡回路	(11)
1—1—2 并联振荡回路	(18)
1—1—3 信号源和负载部分接入振荡回路	(22)
1—1—4 串并联阻抗的等效互换	(26)
§ 1—2 耦合回路	(27)
1—2—1 概述	(27)
1—2—2 互感耦合回路的等效阻抗	(29)
1—2—3 耦合回路的调谐特性	(31)
1—2—4 耦合回路的频率特性	(34)
1—2—5 耦合回路等效电路的串并联互换	(38)
思考题与习题	(41)

第二章 高频小信号谐振放大器

§ 2—1 概述	(43)
§ 2—2 高频单调谐回路谐振放大器	(44)
2—2—1 高频 y 参数等效电路	(44)
2—2—2 晶体管单调谐回路谐振放大器	(47)
§ 2—3 多级单谐振放大器	(51)
2—3—1 同步谐振放大器	(51)
2—3—2 参差谐振放大器	(52)
2—3—3 双回路谐振放大器	(55)
§ 2—4 谐振放大器的稳定性	(57)
2—4—1 输入导纳和输出导纳	(57)

2—4—2	放大器内部反馈的不良影响	(58)
2—4—3	克服内部反馈有害影响的方法	(60)
§ 2—5	非调谐回路式高频小信号放大器	(62)
2—5—1	LC 集中选择性滤波器	(63)
2—5—2	石英晶体滤波器	(63)
2—5—3	陶瓷滤波器	(65)
2—5—4	声表面声波 (SAW) 滤波器	(67)
思考题与习题		(68)

第三章 高频谐振功率放大器

§ 3—1	概述	(71)
§ 3—2	高频谐振功率放大器	(73)
3—2—1	丙类谐振功率放大器的特点	(73)
3—2—2	丙类谐振功率放大器的分析方法	(75)
§ 3—3	高频谐振功率放大器电路	(87)
3—3—1	直流馈电电路	(87)
3—3—2	匹配网络	(88)
3—3—3	实用电路	(90)
§ 3—4	高频特性	(91)
§ 3—5	晶体管倍频器	(93)
思考题与习题		(97)

第四章 正弦波振荡器

§ 4—1	反馈振荡器的基本原理	(99)
4—1—1	谐振回路的自由振荡	(99)
4—1—2	反馈振荡器的构成	(100)
4—1—3	起振过程和起振条件	(101)
4—1—4	平衡过程和维持振荡的平衡条件	(102)
4—1—5	振荡器平衡状态的稳定性	(103)
§ 4—2	LC 正弦波振荡器	(105)
4—2—1	三点式振荡器	(105)
4—2—2	改进型电容三点式振荡器	(109)
4—2—3	其它型式的 LC 振荡器	(111)
§ 4—3	振荡器的频率稳定度	(113)
4—3—1	频率稳定度的意义和定义	(113)
4—3—2	频率稳定度的分析	(114)
4—3—3	提高频率稳定度的措施	(115)

§ 4—4 石英晶体振荡器	(116)
4—4—1 石英晶体谐振器	(116)
4—4—2 晶体振荡电路	(119)
§ 4—5 RC 正弦波振荡器	(122)
4—5—1 移相式 RC 振荡器	(122)
4—5—2 文氏电桥振荡器	(123)
* § 4—6 负阻正弦波振荡器	(124)
4—6—1 负阻器件	(124)
4—6—2 负阻振荡原理及其电路	(126)
4—6—3 用负阻观点讨论 LC 反馈振荡器	(126)
思考题与习题	(127)

第五章 振幅调制与解调电路

§ 5—1 振幅调制波的基本特性及其实现模型	(133)
5—1—1 普通调幅波	(133)
5—1—2 双边带调制波和单边带调制波	(137)
§ 5—2 非线性器件的相乘作用	(140)
5—2—1 非线性器件特性的逼近	(140)
5—2—2 相乘作用	(142)
5—2—3 线性时变工作状态	(143)
§ 5—3 低电平振幅调制电路	(147)
5—3—1 概述	(147)
5—3—2 二极管平衡调幅器	(148)
5—3—3 二极管环型调幅器	(149)
5—3—4 双差分对模拟乘法器及其组成的调幅电路	(151)
§ 5—4 振幅调制波的解调电路	(158)
5—4—1 大信号检波(包络检波)电路	(159)
5—4—2 同步检波器	(163)
思考题与习题	(168)

第六章 混频电路

§ 6—1 概述	(171)
§ 6—2 混频电路	(172)
6—2—1 三极管混频电路	(172)
6—2—2 二极管双平衡混频器—环型混频器	(176)
6—2—3 用模拟乘法器构成的混频器	(176)
§ 6—3 混频器的干扰和非线性失真	(177)

6—3—1 组合频率干扰	(177)
6—3—2 非线性失真	(179)
6—3—3 减小干扰和失真的措施	(181)
思考题与习题	(181)

第七章 角度调制与解调电路

§ 7—1 概述	(183)
§ 7—2 调角波的性质	(184)
7—2—1 调角波的数学表示式	(184)
7—2—2 调角波的频谱结构和宽度	(186)
§ 7—3 直接调频电路	(190)
7—3—1 变容二极管调频电路	(190)
7—3—2 张弛振荡电路实现调频	(196)
§ 7—4 间接调频电路——由调相实现调频	(199)
7—4—1 矢量合成法调相电路	(200)
7—4—2 可变移相法调相电路	(200)
7—4—3 可变时延法调相电路	(203)
§ 7—5 间接调频发射机提高线性频偏的方法	(205)
§ 7—6 调频波的解调——鉴频	(206)
7—6—1 概述	(206)
7—6—2 斜率鉴频器	(209)
7—6—3 相位鉴频器	(214)
7—6—4 脉冲计数式鉴频器	(222)
思考题与习题	(223)

第八章 反馈控制电路

§ 8—1 概述	(227)
8—1—1 自动增益控制电路 (AGC)	(227)
8—1—2 自动频率控制电路 (AFC)	(228)
§ 8—2 自动相位控制电路 (锁相环路)	(229)
8—2—1 锁相环路的基本工作原理	(229)
8—2—2 锁相环路的性能分析	(231)
§ 8—3 集成锁相环路及其应用	(235)
8—3—1 集成锁相环路	(235)
8—3—2 锁相环路在通信系统中的应用	(239)
8—3—3 频率合成技术	(243)
思考题与习题	(256)

绪 论

在无线通信电路中，包括两种类型的电路：一种是工作信号的变化范围很小，使半导体器件工作在线性区，即非线性效应很小，可以忽略。这样的器件称作线性器件，由它构成的电路称作线性电路。如本书的高频小信号谐振放大器。另一种是工作信号变化范围较大，使器件的非线性效应占主导地位。虽然它和线性电路用同样的半导体器件，但此器件在此呈现非线性效应，因此称作非线性器件。由它构成的电路称作非线性电路。本书中的高频谐振功率放大器、频率变换电路等属于非线性电路。

线性器件和非线性器件有着根本的区别。线性器件的主要特点是器件的参数为常数，与通过它的电流或加于其上的电压无关。例如小信号工作的晶体管、常用的电阻、电容、空心电感等。非线性器件参数不是常数，而是与通过它的电流或加于其上的电压大小有关。例如晶体管的电流放大系数和静态工作点、带磁心的线圈电感等。

对线性器件已有所了解，现仅介绍非线性器件的基本特点。

§ 0—1 非线性器件的基本特点

非线性器件种类繁多，归纳起来，可分为非线性电阻、非线性电容和非线性电感。半导体二极管、晶体管、场效应管、隧道二极管、单结晶体管以及各种电子管都属于非线性电阻。我们以非线性电阻器件为例从下面三个方面来理解非线性器件的基本特点。

一、非线性器件特性的参数

非线性器件有多种含义不同的参数，而且这些参数都是随着激励量的大小而变化。以非线性电阻器件为例，它的伏安特性如图 0—1—1 所示。常用的有直流电导、交流电导、平均电导三种参数。

直流电导又称静态电导，它是指伏安特性曲线上任一点与原点之间连线（OQ 线）的斜率，用 g_0 表示，其值为

$$g_0|_Q = \frac{I_Q}{V_Q} \quad (0-1-1)$$

它表明直流电流与直流电压之间的依存关系。显然，其值是 V_Q （或 I_Q ）的非线性函数。

交流电导又称增量电导或微变电导，它是指伏安特性曲线上任一点的斜率或近似为该点上增量电流与增量电压的比值，用 g 表示，其值为

$$g|_Q = \frac{di}{dv}|_Q = \frac{\Delta i}{\Delta v}|_Q \quad (0-1-2)$$

它表明增量电流与增量电压之间的依存关系。显然，其值也是 V_Q （或 I_Q ）的非线性函数。若

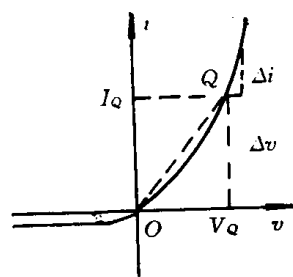


图 0—1—1 g_0 和 g 的定义

V_Q (或 I_Q) 是受周期性电压 (或电流) 控制的时变量, 则 $g|_Q$ 的数值也随时间作周期性变化。通常将这种电导称为时变增量电导。

平均电导是这样定义的: 当器件两端加上余弦电压 $v = V_m \cos \omega t$ 时, 由于特性的非线性, 流过器件的电流波形必是非余弦的, 如图 0—1—2 所示。将它用傅里叶级数分解为平均分量、基波分量及各次谐波分量之和, 则

$$i = I_0 + I_{1m} \cos \omega t + I_{2m} \cos 2\omega t + \dots \quad (0-1-3)$$

平均电导就是其中基波电流振幅与外加电压振幅的比值, 用 g_{av} 表示, 即

$$g_{av}|_{Q, V_m} = \frac{I_{1m}}{V_m} \quad (0-1-4)$$

表明基波电流与外加电压之间的依存关系。显然, 其值是 V_Q 或 (I_Q) 和 V_m 的非线性函数。

晶体三极管等三端非线性电阻器件也有三种参数, 但它们所代表的物理量却有所不同。例如, 晶体三极管就其转移特性 (即集电极电流 i_c 随发射结电压 v_{BE} 变化的特性) 而言, 它的参数称为跨导, 相应地有直流跨导、增量跨导 (或时变增量跨导) 和平均跨导。

上述三种电导 (或跨导) 各有不同的应用场合。直流电导 (或跨导) 适用于直流分析, 时变增量电导 (或跨导) 适用于频率变换电路的分析, 而平均电导 (或跨导) 适用于功率放大和振荡电路的分析。

可见, 分析非线性电子线路的性能时, 必须根据实际工作情况选用不同的参数。而对于线性器件来说, 却只有一种参数 (例如, 电阻器的参数是电阻 R) 并且其值是恒定的。

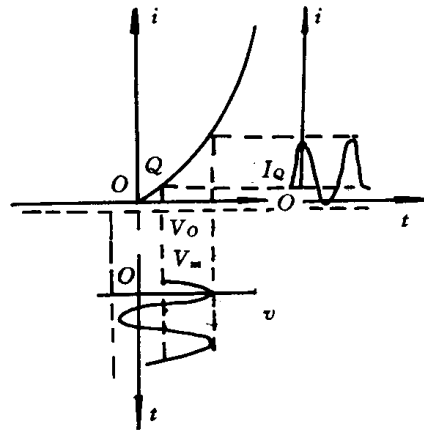


图 0—1—2 g_{av} 的定义

二、非线性器件特性的控制变量

分析非线性器件的响应特性时, 必须注明它的控制变量。控制变量不同, 描写非线性器件的函数也不同。例如, 晶体二极管, 当控制变量为电压时, 流过晶体二极管的电流对电压的关系是指数规律的; 而当控制变量为电流时, 在晶体二极管两端产生的电压对电流的关系则是对数规律的。当非线性器件的特性为非单调变化时, 指明它们的控制变量尤为重要。例如, 隧道二极管的伏安特性曲线如图 0—1—3 所示。由图可见, 当控制变量为电压时, 流过隧道二极管的电流为确定的单值; 而当控制变量为电流时, 在隧道二极管两端产生的电压则有多个数值, 存在着不确定性。因此, 通常称隧道二极管为压控非线性器件。

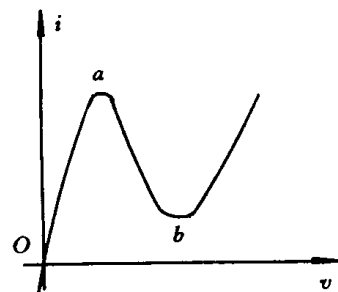


图 0—1—3 隧道二极管的伏安特性曲线

由图 0—1—3 还可看到, 曲线上任一点的直流电导恒为正值, 但增量电导或平均电导在曲线的 $a-b$ 区间内却为负值。正电导表明器件吸收能量, 而负电导表明器件提供能量。在非线性电子线路中, 特别在振荡电路中, 负电导的概念至为重要。

器件特性的描述与控制变量有关, 并且可能出现负参数,

这是非线性器件与线性器件的又一个重要区别。

三、分析上不满足叠加原理

在分析非线性器件对输入信号的响应时，不能采用线性器件中行之有效的叠加原理。若设非线性器件的特性为 $i=f(v)$ ，则当 $v=v_1+v_2$ 时， i 将等于 $f(v_1+v_2)$ ，而不等于 $f(v_1)+f(v_2)$ 。

例如，若设 $i=av^2$ ，则当 $v=v_1+v_2$ 时

$$i = av_1^2 + av_2^2 + 2av_1v_2 \neq av_1^2 + av_2^2 \quad (0-1-5)$$

可见， i 中除了含有两个电压分别作用时的响应电流外，还增加了两电压乘积项作用的响应电流。

不满足叠加原理固然增加分析上的困难，但正是由于出现两个电压的相乘项，才使非线性电子线路可以实现更多的电路功能。

上面举例说明了非线性电阻器件的基本特点。对于非线性电容器件和非线性电感器件，它们也有类似的特点，这里不再赘述。

§ 0—2 非线性器件的作用

非线性器件具有放大作用和频率变换作用。

0—2—1 非线性器件的放大作用

设一个晶体管放大器，其晶体管的增量跨导为 g_m ，放大器的负载电阻 R_L ，输入信号为 $V_1 \cos \omega t$ ，则其集电极电流 i_c 和集电极电压 v_c 分别为

$$\begin{aligned} i_c &= I_{CQ} + g_m V_1 \cos \omega t \\ v_c &= V_{cc} - g_m R_L V_1 \cos \omega t \end{aligned}$$

故在一个周期内，集电极消耗功率为

$$\begin{aligned} P_c &= \frac{1}{T} \int_0^T (I_{CQ} + g_m V_1 \cos \omega t)(V_{cc} - g_m R_L V_1 \cos \omega t) dt \\ &= I_{CQ} V_{cc} - \frac{1}{2} g_m^2 R_L V_1^2 \end{aligned}$$

上式右边第一项表示放大器由电源 V_{cc} 吸取的直流功率，在无交流输入信号时，这部分功率全部转化为热消耗在晶体管上；上式右边第二项为一负值，表示放大器向负载 R_L 输出的功率，即把直流功率的一部分转化为交流功率，如果供给负载的这部分功率大于信号源提供的功率，我们就说此电路有放大作用。这就是非线性器件所具有的放大作用。

非线性器件的放大作用可用来构成各种放大器和振荡器。其中，利用非线性电抗的放大作用所构成的放大器和振荡器称为参量放大器和参量振荡器。

0—2—2 非线性器件的频率变换作用

若设非线性电阻器件的特性可表示为 $i=av^2$ ，当器件两端作用有两个不同频率的余弦电压，即 $v=v_1+v_2=V_{1m} \cos \omega_1 t + V_{2m} \cos \omega_2 t$ ，则流过器件的电流为

$$\begin{aligned} i &= a(v_1 + v_2)^2 = a(V_{1m} \cos \omega_1 t + V_{2m} \cos \omega_2 t)^2 = a(V_{1m}^2 \cos^2 \omega_1 t + V_{2m}^2 \cos^2 \omega_2 t + 2V_{1m} V_{2m} \cos \omega_1 t \cos \omega_2 t) \\ &= \frac{a}{2}(V_{1m}^2 + V_{2m}^2) + \frac{a}{2} V_{1m}^2 \cos 2\omega_1 t + \frac{a}{2} V_{2m}^2 \cos 2\omega_2 t + a V_{1m} V_{2m} \cos(\omega_1 + \omega_2)t + a V_{1m} V_{2m} \cos(\omega_1 - \omega_2)t \end{aligned}$$

$$\cos(\omega_1 - \omega_2)t$$

由上式看出, i 中包含有直流分量、激励信号频率的二次谐波分量和激励信号频率的和频和差频分量。可见, 非线性器件的输出电流中包含有与输入激励信号频率不相同的频率分量, 这就是非线性器件的频率变换作用。

非线性器件的频率变换作用, 在线性电子线路中就意味着产生了失真, 在线性放大器中要力求避免这种失真。但是非线性电子线路恰恰是要研究如何有效地利用非线性器件的这种“失真”特性来实现各种功能。可以说, 没有“失真”, 就没有非线性电子线路。

§ 0—3 通信系统概述

下面将对无线通信系统的基本原理及框图作一简单介绍, 以了解各种无线通信电路在整个通信系统中的地位和作用。

0—3—1 传输信号的几种方法

一切完成信息传输任务的系统可统称为通信系统。它包括有线或无线, 如电报、电话、广播、电视、雷达以及数据传输等。

一个完整的通信系统的概括组成框图可用图 0—3—1 来表示。

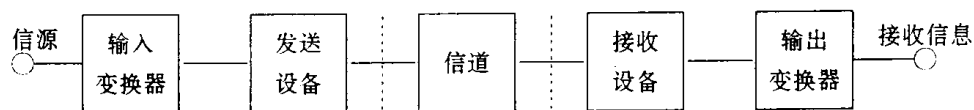


图 0—3—1 通信系统方框图

信源: 信源就是信息的来源。它有着不同的形式, 可能是语言、音乐、文字、图象、也可能是电码等形式。

输入变换器: 它的作用是将信息变换成相应的电信号, 不同的信源需要不同的变换器。它可能是话筒、摄像机、电话机、电报机等。

发送设备: 它完成信号的处理, 将电信号变换为适合在不同信道内传输的信号。发送设备包括振荡、放大、调制、输出等部分。

接收设备: 它将由信道送来的信号还原为原端的电信号。它包含混频、解调、放大等。

输出变换器: 它的作用是将传输来的电信号变换成所需要的信息形式。它可能是扬声器、显示器、控制器、打印设备等。

信道: 它是发送设备和接收设备中间的传输媒介, 表明信号传输的途径。信道的种类很多, 大体上可分为以下几种:

1. 无线信道: 它是利用自由空间、电离层等来传输信号, 属于无线通信。
2. 有线信道: 它是利用架空明线或电缆来传输信号, 属于有线通信。
3. 光信道: 它是利用光纤光缆来传输信号, 属于光通信。

由于每种信道的传输特性不同, 因此根据不同的通信方式、环境和条件, 必须选择不同工作波段。现分别加以简要说明。

一、无线通信: 它可将高频电信号加于发送天线上, 利用自由空间传播电磁波的特性, 将信号发送至远方。表 0—3—1 列出了无线电通信中各种波段使用情况。不同频率的电磁波有

着不同的传输特性，因此必须根据实际用途来选用不同的波段。

表 0—3—1

无线电波段划分表

波段名称	波长范围	频率范围	主要用途
超长波	$10^4 \sim 10^5 \text{m}$	30~3kHz	长距离通信，导航，频率标准
长波	$10^3 \sim 10^4 \text{m}$	300~30kHz	导航，长距离通信
中波	$10^2 \sim 10^3 \text{m}$	3000~300kHz	广播，船舶通信、飞行通信
短波	10~100m	30~3MHz	广播，各种通信
超短波	1~10m	3000~30MHz	短距离通信，电视雷达导航
分米波	10~100cm	3000~300MHz	短距离通信，雷达散射通信
厘米波	1~10cm	30~3GHz	短距离通信，雷达卫星通信

1. 地面波：在超长波、长波和中波几个波段，电磁波主要沿着地球表面传播，叫地面波，如图 0—3—2 (a) 所示。因为地面的导电性能变化很小，因而传播性能稳定可靠。电磁波传播时，有部分电磁能量将被消耗，而且频率越高损耗越大。但是频率也不能太低，否则波长加大，相应地要求天线增高。长波电台主要利用地面波进行长距离通信、导航、播送标准时间信号等，因要求电台的天线长、功率大，应用受到限制。中波电台用于广播和通信。

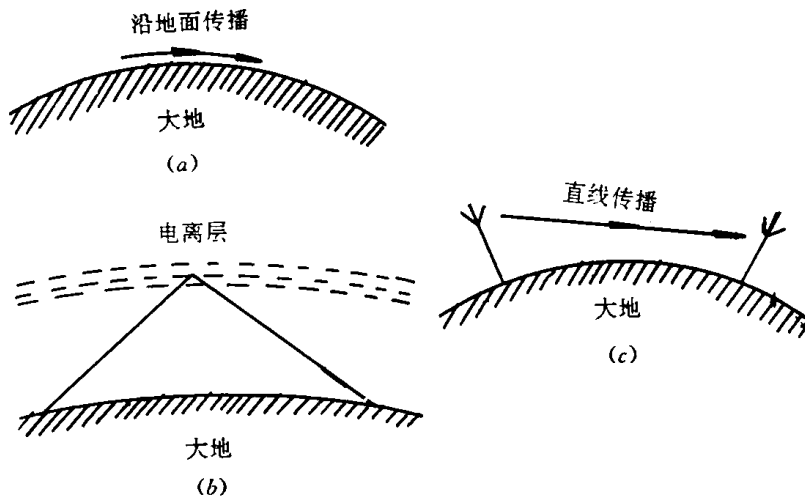


图 0—3—2 无线电波传播方式

2. 天波：在短波波段，电磁波主要靠电离层的反射和折射，叫天波。电离层在大气上层，它的形成是由于太阳和星际空间的辐射引起大气电离的结果。电磁波到达电离层后，一部分能量被吸收，一部分能量被反射与折射到地面，如图 0—3—2 (b) 所示。频率越高，电磁波被电离层吸收的能量就越小。但是频率不能过高，否则，电磁波就会穿过电离层，不再返回地面。短波电台主要利用天波进行中距离和远距离的各种通信和广播。因为电离层受季节、昼夜、气候等因素影响很大，短波接收不够稳定。

3. 空间波：在超短波波段以下，电磁波在自由空间作直线传播，如图 0—3—2 (c) 所示。由于地球表面是弯曲的，这种传播的距离只能限制在视线范围内。超短波电台主要用于短距

离移动通信、电视、雷达等。空间波的传播距离最短，因而一般的电视接收只限于本地电视台。

波长在 100cm 以下的分米波，厘米波等称为微波。这些波段的电磁波主要是利用空间波的传播特性。微波电台用于雷达、卫星通信等。

二、有线通信：它与无线通信相比较，有线通信利用的频段较低，例如架空明线的最高传输频率达 150KHz 左右，它可传输多路载波电话。随着频分制多路复用技术的发展，载波机的输出信号的频谱范围可扩展到米波段甚至分米波段。

三、光通信：它具有损耗小、容量大、保密性强、单话路的投资小等一系列优点，因而已经成为通信的重点发展方向之一。光的波长很短，频率很高，它已高出微波波段。更远远超出一般讨论的无线电频率的范围（300MHz 以下），表 0—3—1 中没有列出。

在微波通信和光纤通信中，由于频率太高，它们所使用的器件与电路和普通无线电通信是完全不同的，由专门的课程讨论。本书只研究从长波到超短波（300MHz 以下）通信系统中的基本电路，也就是一般的无线电发射和接收原理以及它们的电路。

下面以无线电系统为例具体说明通信系统的组成。

0—3—2 无线电通信系统的组成

一、无线电发射机系统

无线通信是利用自由空间、电离层等来传输信号的，如何利用它们将电信号传输到远方呢？经对天线和电磁波的研究表明，如果天线的长度 l 可以和传输的电信号的波长 λ 相比拟时 ($l \approx \frac{1}{4}\lambda$)，那么把电信号加到天线上，就可以电磁波的形式传输到很远的地方。

我们要传输的信息一般是语言、音乐等低频信号。例如，基本语言的频率范围是 300~3000Hz，将基本语言频率折合为波长是

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3 \times 10^8}{300 \sim 3000} = 10^5 \sim 10^6 \text{m}$$

显然，要制作长度可与其相比拟的天线进行发射是根本不可能的，为了解决这个困难，可采取以下措施：

1. 产生高频信号：由振荡电路输出一个高频信号，加到天线上发射出去，这个高频信号称作载波，用来作为传输信息的运载工具。

2. 调制高频信号：用需要传输的低频信号去控制高频的载波信号，这个过程称为调制。受到控制的高频载波信号称为调制波。它本身是高频信号，可以发射；但同时因受到调制，就带着控制它的信号（即要传输的信号）一齐发射出去。

调制的方法大致可分为连续调制和脉冲调制两大类。对于连续调制来说，假设载波信号是余弦波 $A \cos(\omega t + \varphi)$ ，待传输的低频信号可以控制载波的振幅 A 、频率 ω 或相位 φ ，由此可以得到调幅 (AM)、调频 (FM) 或调相 (PM) 三种不同的调制方式。脉冲调制又可分为振幅调制、宽度调制、位置调制、编码调制等调制方式。

图 0—3—3 是采用调幅方式的无线通信发射机组成方框图以及相应的波形。图中，振荡器用来产生高频振荡信号；高频放大器由多级谐振放大器（包括倍频器）串接组成，用来放大振荡器产生的振荡信号，并使其频率倍增到载波频率 f_c 上，最后提供足够大的载波功率；调制信号放大器（又称低频放大器）由多级非谐振放大器串接组成。其中前几级为小信号放大器，用来放大微音器变换来的电信号，后面几级为功率放大器，用来提供足够功率的调制信

号；振幅调制器被用来实现调幅功能，它将输入的载波信号和调制信号变换为所需的调幅波信号，然后加到天线上发射出去。

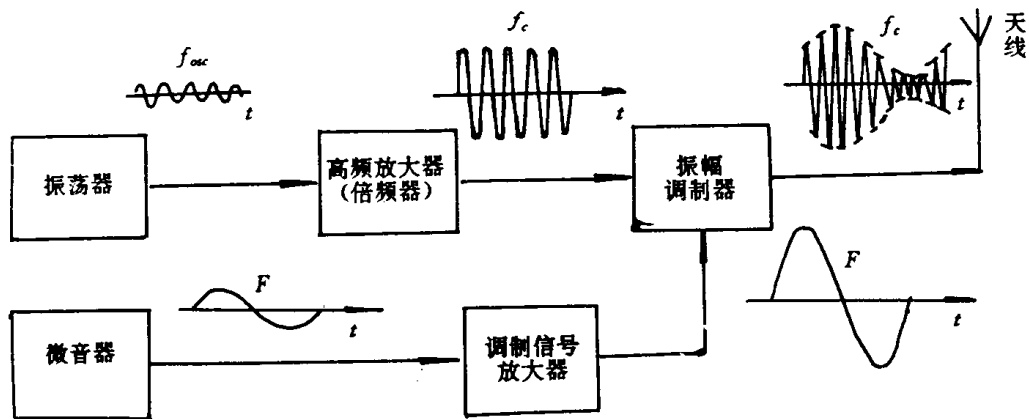


图 0—3—3 采用调幅方式的无线通信发射机组成方框图

图 0—3—4 是调频发射机框图，图中，频率调制器实现调频功能，它将载波信号和调制信号变换为调频波信号，经过倍频得到所需的调频波信号，经高频功率放大器加到天线上发射出去。

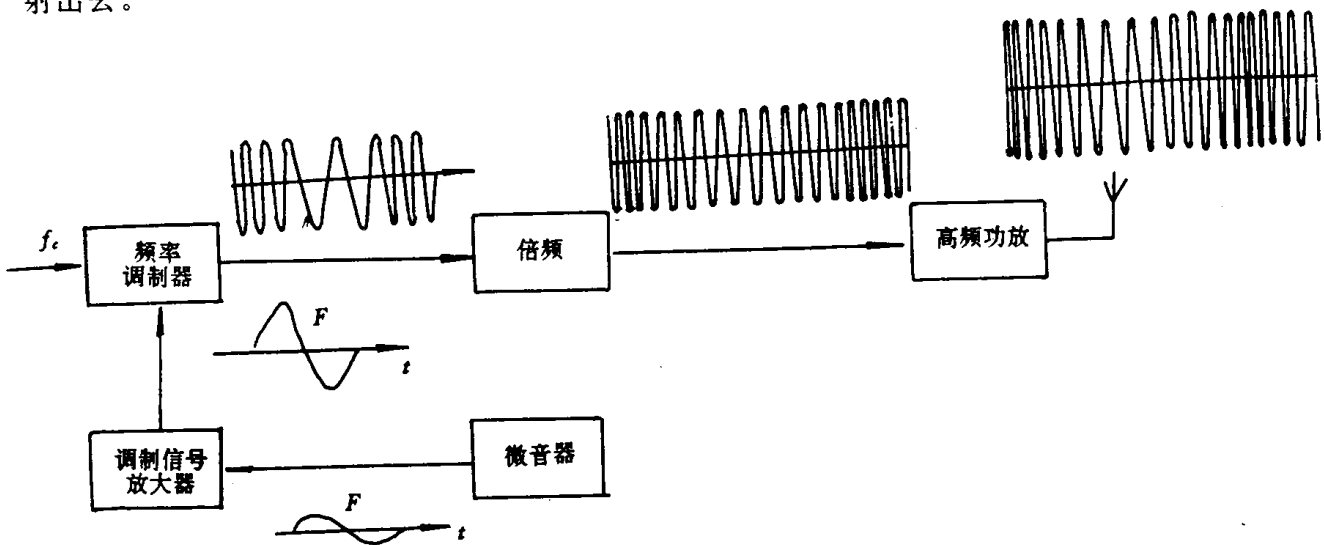


图 0—3—4 调频发射机框图

二、无线电接收机系统

图 0—3—5 是超外差式 AM/FM 接收机框图，AM 称为调幅，组成的接收机称为调幅接收机，FM 称为调频，组成的接收机称为调频接收机。调幅接收机接收调幅信号，调频接收机接收调频信号。图 0—3—6 是调幅接收机框图，各单元电路的功能由图中的波形示出。

高频放大器由一级或多级小信号谐振放大器组成，用来放大天线上感生的有用信号；同时，利用放大器中的谐振系统抑制天线上感生的其它频率的干扰信号。由于谐振放大器的中心频率随所需接收信号频率 f_c 不同而不同，因此，高频放大器必须是可调谐的。

混频器（变频器）：混频器有两个输入信号，一是由高频放大器送来的载波频率为 f_c 的高频已调信号；一是由本机振荡器产生频率为 f_L 的本振信号。它的作用是将载波频率为 f_c 的高